



소형 모듈 원전(SMRs) 시장 선점을 위한 치열한 경쟁 현황

The great SMR race



소형 모듈 원전(SMRs, Small Modular Reactors) 시장 선점을 위한 각국의 경쟁이 치열하게 전개되고 있다. 그 중에서도 특히 미국, 러시아, 중국, 한국, 아르헨티나를 포함한 15개 국가가 향후 20년에 걸쳐 펼쳐질 소형 모듈 원전 시장 선점 경쟁에서 치열한 각축전을 벌일 것으로 예상되고 있다.

최 근 소형 모듈 원전(SMRs)에 대한 각국의 관심이 커지면서 세계 원전 시장이 새로운 활기를 띠고 있다. 이제 소형 모듈 원전은 전 세계 원자력 르네상스의 새로운 동력으로 자리매김을 하고 있으며, 후쿠시마 원전 사고로 인해 원자력에 대한 부정적 인식이 전 세계적으로 커져가고 있는 상황에도 불구하고 소형 모듈 원전 시장은 추진 동력을 잃지 않은 채 적극적인 개발이 이루어지고 있다.

심지어 일부에서는 소형 모듈 원전이야말로 전 세계 원전 시장의 판도를 근본적으로 뒤바꿔 놓을 수 있는 게임 체인저(game-changer)가 될 것이라는 예측도 서슴없이 내놓고 있는 실정이다.

물론 어떤 면에서 볼 때 소형 모듈 원전은 현재 원전 시장의 주종을 이루고 있는 대형 경수형 원자로(LWR)를 대체하는 정도의 한정된 역할밖에 할 수 없을지도 모른다. 그러나 대부분의 전문가들은 소형 모듈 원전이 현재의 경수로 시장을 대체하는 이른바 제로섬 게임이 될 수밖에 없을 것이라는 일부 전문가들의 예측과는 반대의 생각을 하고 있다.

그들은 소형 모듈 원전이 세계 원전 시장에서 단순히 경수로와 같은 기존의 원전을 대체하는 것이 아니라 전혀 새로운 시장을 창출해 낼 수 있을 것이라는 예측을 내놓고 있다. 무엇보다도 소형 모듈 원전은 현재의 대형 경수로 원전에 비해 활용 범위가 넓을 뿐만 아니라, 앞으로 개발할 수 있는 잠재적인 분야도 많다는 것이 그러한 주장을 뒷받침할 수 있는 근거라고 그들은 말하고 있다.

물론 아직은 시작 단계에 지나지 않는 만큼 현재 개발되고 있는 소형 모듈 원전의 종류는 그리 많지 않다. 그러나 기존의 원자력 엔지니어링 회사는 물론 여러 많은 새로운 신생 기업이나 연구 기관들이 소형 모듈 원전 개발을 위해 적극적으로 나서면서 점차 그 종류도 다양해지고 있다.

현재 소형 모듈 원전의 주종을 이루고 있는 것은 역시 가압경수로형 원전이다. 그리고 그 중에서도 원자로 압력용기 내에 증기발생기를 내장한 소위 일체형 가압경수로(integral PWR)가 주종을 이루고 있다.

〈표 1〉 소형 모듈 원전(SMR) 개발 분야 선도 국가 및 기관

Leading SMR designs				
Design	Company	Country	Type	Single module output (MWe)
mPower	Babcock & Wilcox	US	LWR	180
NuScale	NuScale Power Inc.	US	LWR	45
W-SMR	Westinghouse	US	LWR	225+
SMR-160	Holtec	US	LWR	160
SMART	KAERI	South Korea	LWR	100
CAREM	CNEA	Argentina	LWR	25
KLT-40S	OKBM Afrikantov	Russia	LWR	35
VBER-300	OKBM Afrikantov	Russia	LWR	325
ACP-100	CNNC	China	LWR	100
HTR-PM	Tsinghua & Huaneng	China	HTR	211
SVBR-100	AKME Engineering	Russia	LMR	102
4S	Toshiba	Japan	LMR	10
HPM	Gen4	US	LMR	25
PRISM	GE-Hitachi	US	LMR	311

그런데 앞으로 당분간 소형 모듈 원전의 주종은 일체형 가압경수로가 될 가능성이 많다고 전문가들은 예측하고 있다. 그 이유는 현재 전 세계 원전 시장의 주종을 이루고 있는 것이 바로 가압경수로이고, 그만큼 개발 경험과 이용 경험이 많기 때문에 거기에서부터 배울 수 있는 교훈도 많기 때문이다.

그러나 경수로 이외에 고온가스로(HTR)나 액체금속로(LMR)와 같은 새로운 개념의 원자로형을 적용하는 방안도 현재 전 세계적으로 널리 연구되고 있다. 그 이유는 무엇보다 경수로에 비해 고온가스로나 액체금속로와 같은 보다 진보된 원자로 방식이 독립망 전력 시스템(off-grid sites) 환경, 열병합이나 해수 담수화, 그리고 군사적 목적과 같은 틈새시장을 공략하기에 더 적합할 수도 있기 때문이다.

시장 경쟁력을 인정받고 있는 15개 국가

현재 전 세계적으로 여러 국가와 기관들이 소형 모듈 원전 개발에 참여하고 있다. 그러나 여러 가지 정황을 고려할 때 향후 20년 내에 나름의 시장 경쟁력을 유지할 수 있는 소형 모듈 원전 개발 국가는 모두 15개 정도인 것으로 파악되고 있다.

현재 이 분야의 선두를 달리고 있는 국가로는 미국, 러시아, 한국, 중국 등 5개 국가인 것으로 평가되고 있다. 이와 함께 아르헨티나와 일본도 개발에 뛰어들어 시장 선점을 위해 노력하고 있다. 이외에 프랑스, 캐나다, 남아프리카공화국, 그리고 인도 등이 소형 모듈 원전 개발을 위한 프로젝트를 추진하고 있다.

지금 현재로서는 미국이 소형 모듈 원전 개발에 가장 적극적이고 광범위하게 나서고 있다. 비록 지금까지



는 국책 기관이 아닌 사기업들이 소형 모듈 원전 개발 사업을 이끌어 왔지만, 최근에 들어와서는 정부의 참여와 지원이 점차 늘고 있는 실정이다.

특히 미국 에너지부(DOE)는 소형 모듈 원전의 국내 활용은 물론 해외 수출까지 염두에 두고 성공적인 개발을 지원하기 위해 산업계와 긴밀한 관계를 구축해 나가고 있다. 현재 DOE 내의 원자력국이 주축이 되어 '새로운 개념의 SMR 개발을 위한 연구 개발 프로그램'(the SMR Advanced Concepts R&D Programme)을 추진하고 있다.

거기에는 최근에는 'SMR의 인허가 기술 지원 프로그램'(the SMR Licensing Technical Support Program)이라는 프로젝트가 만들어지면서 2012년부터 2016년까지 5년에 걸쳐 총 4억5,200만 달러에 이르는 예산을 정부로부터 지원받을 수 있는 프로그램이 만들어졌다. 그리고 이 인허가 기술 지원 프로그램의 일환으로 DOE는 2012년 3월에 기금 지원 계획(FOA)을 공고했다. DOE는 이 FOA를 통해 최고 2개의 SMR 모델에 대하여 표준 설계 인가 및 인허가 신청을 지원할 계획이다.

물론 공식적으로는 미국 내의 모든 원자로 공급자(vendor)가 DOE의 자금 지원 프로그램을 신청할 수 있는 자격이 있다. 그러나 DOE는 적절한 FOA 선정 기준을 통하여 SMR의 지원 모델을 가압경수로(PWR)형 모델로 한정할 수도 있다.

궁극적으로 DOE는 이러한 방법을 통하여 미국에서 새롭게 떠오르고 있는 소형 모듈 원전 시장에 대하여 정부가 향후 어떤 방식의 모델을 선정하여 지원해 나갈 것인가에 대한 강력한 신호(signal)를 내보낼 수 있을 것이다.

지금까지 총 4개의 컨소시엄이 구성되어 DOE의 자금 지원 프로그램을 신청한 상태이다. 첫 번째는 B&W(Babcock & Wilcox)와 Bechtel이 이끄는 컨소시엄으로, 원자로 모델명은 mPower이다. 두 번째는 Fluor/NuScale Power가 이끄는 컨소시엄으로, 원자로 모델명은 NuScale이다. 그리고 세 번째는 Westinghouse와 Ameren이 이끄는 컨소시엄으로, 모델명은 W-SMR이다. 마지막으로 네 번째는 Holtec International이 이끄는 컨소시엄으로, 모델명은 SMR-160이다.

소형 모듈 원전 시장을 선점하기 위한 미국 내 원자로 개발자들의 치열한 경쟁 속에서 DOE는 지난 2012년 11월에 B&W와 Bechtel이 이끄는 컨소시엄의 mPower 모델을 자금 지원 대상 원자로로 선정함으로써 미국의 소형 모듈 원전 시장에 아주 중요하고도 강력한 신호를 보냈다.

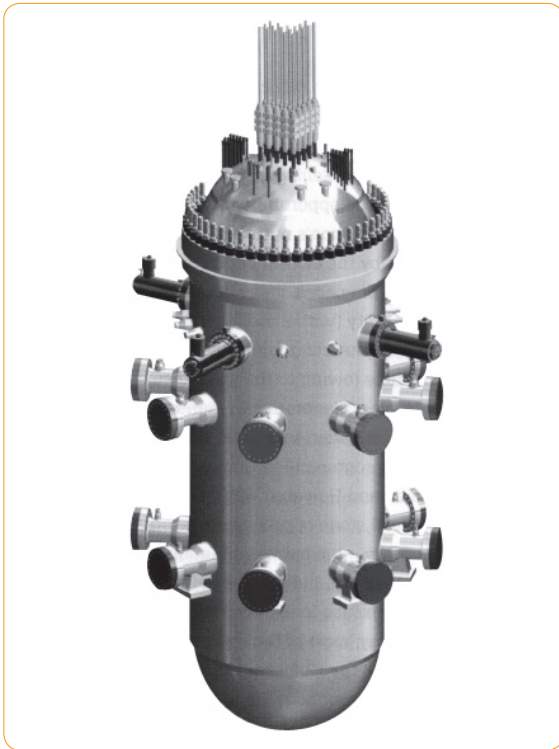
미국의 DOE는 최근 지난해에 이어 두 번째로 SMR 인허가 기술 지원 프로그램 대상자 선정을 위한 공고를 내보냈다. DOE에 따르면, 이번에 지원되는 자금의 규모도 지난번 1차 때와 마찬가지로 4억5,200만 달러로 책정되어 있다. 다만, 원전 운영 목표 연도는 지난번 1차 때보다 3년이 늦은 2025년으로 되어 있다. 자금은 역시 지난번 1차 때와 마찬가지로 5년에 걸쳐 지원되며, DOE의 지원 금액에 맞춰 자금 지원을 받은 컨소시엄도 나머지 50%를 부담해야 한다는 조건도 지난번과 똑같다.

소형 모듈 원전 세계 시장 선점을 위한 노력은 전술한 미국뿐만 아니라 한국, 중국, 아르헨티나, 그리고 러시아 등에서도 활발하게 이루어지고 있다. 이들 나라들 역시 미국과 마찬가지로 소형 모듈 원전의 개발 방향을 보다 명확히 하기 위하여 정부가 적극적으로 나서고 있다.

한국에서는 정부 출연 연구 기관인 한국원자력연구원(KAERI)이 일명 'SMART'라는 SMR을 개발 중에 있는데, 정부 투자 기관인 한국전력(KEPCO)을 포함하여 사기업인 두산중공업, 대우, STX 중공업, (주)삼청, 그리고 일진에너지 등과 같은 여러 기업으로부터 적극적인 지원을 받고 있다. SMART는 지난 2012년 7월에 정부로부터 표준 설계 인가를 획득했으며, 빠르면 올해 안에 최초로 건설에 착수할 수도 있다.

중국은 실증로인 HTR-PM을 2017년 완공 목표로 산둥성(Shandong Province) 시다오완(Shidaowan)에 지난 2012년 12월부터 공식적으로 건설하고 있다. 또한 중국핵집단공사(CNNC)는 최근 발표를 통해 몇 년 후 복건성(Fujian Province) 장조우(Zhangzhou)에 소형 PWR 원자로인 ACP-100을 건설하는 프로젝트를 추진할 수도 있음을 공식적으로 인정했다.

아르헨티나는 원형로인 CAREM-25를 아투차(Atucha) 지역에 건설하기 위하여 지난 2012년부터 토



소형 모듈 원전(SMRs, Small Modular Reactors) 시장 선점을 위한 각국의 경쟁이 치열하게 전개되고 있다. 그 중에서도 특히 미국, 러시아, 중국, 한국, 아르헨티나를 포함한 15개 국가가 향후 20년에 걸쳐 펼쳐질 소형 모듈 원전 시장 선점 경쟁에서 치열한 각축전을 벌일 것으로 예상되고 있다.

목 공사를 추진하고 있다. 건설이 예정대로 진행된다면 2016년에는 완공될 수 있을 것으로 보인다. 아르헨티나는 또한 150MWe 이상의 설비 용량을 갖는 CAREM 원자로를 파라과이강을 끼고 있는 포르모사(Frmosa) 지역에 건설하기 위한 준비도 하고 있는 것으로 알려지고 있다.

여러 가지 종류의 SMR을 개발하고 있는 러시아에서는 현재 국영 원자력공사인 Rosatom의 주관하에 여러 주요 프로젝트가 추진되고 있다. 특히 최근 몇 년에 걸쳐 러시아 정부는 어떤 원자로형을 상용화 단계로까지 끌고 갈 것인지를 결정하기 위한 여러 가지 검토를 해왔다.

러시아는 지금까지 수행해 온 많은 소형 원자로 개발 노력을 통해 얻은 결과물을 활용하여 부양식 해상 원전 건설 프로젝트인 ‘아카데미 로모노소프’(Akademik Lomonosov)를 추진하고 있다. 부양식 소형 원자로인 KLT-40S 2기를 탑재하게 될 이 원전 건설 프로젝트는 오는 2016년 완성을 목표로 하고 있다.

러시아는 또한 최근 실증로인 남-비스무스 냉각고속로 SVER-100 건설 프로젝트와 실험용 고속로인 VBER-300 건설 프로젝트 추진에 많은 노력을 기울이고 있다. 이들 프로젝트는 현재 사업 초기 단계에 있다.

러시아는 이외에도 카자흐스탄의 국영 원자력공사인 카즈아톰프롬(Kazatomprom)과 공동으로 소형 원자로인 VBER-300 설계 작업을 수행하고 있다. 러시아는 이 VBER-300 원자로를 카자흐스탄의 악타우(Aktau) 지역에 건설을 추진하고 있으나, 계획보다 지연되고 있는 실정이다.

한편, 현재 전 세계적으로 개발되고 있는 여러 가지 SMR 모델 중에서 흥미를 끌고 있는 모델 중의 하나가 바로 일본의 도시바(Toshiba)가 일본 전력중앙연구소(CRIEPI)의 협력을 받아 개발한 일명 4S 원자로이다. 4S라는 원자로 명칭은 Super-Safe, Small, 그리고 Simple의 첫 자를 따서 만든 것이다.

4S는 이미 미국의 원자력 규제 기관인 NRC로부터 인증을 받았기 때문에 사실 몇 년 전만 하더라도 일본 도시바의 4S 원자로는 미국 알래스카의 갈레나(Galena) 시에 건설될 후보 원전으로서 유망했다. 그러나 알래스카 원전 건설 프로젝트는 추진이 중단됐고 앞으로도 추진 가능성은 현실적으로 희박한 상태다.

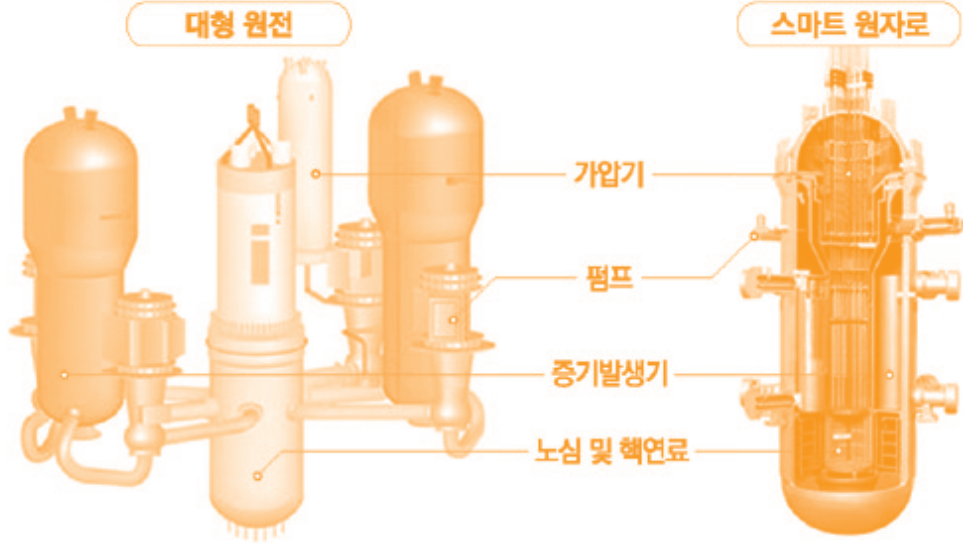
그러나 도시바는 계속해서 새로운 고객을 찾는 노력을 하고 있기 때문에 4S는 여전히 전 세계적으로 가장 흥미를 끄는 SMR의 하나로 남아 있을 가능성이 있다. 왜냐하면 도시바의 새로운 고객을 찾는 그러한 노력은 캐나다의 알버타(Alberta) 주에서 추진되고 있는 오일 샌드 생산을 목적으로 하는 원자로 건설 프로젝트에서 그 결실을 볼 수 있을지도 모르기 때문이다.

해외 진출 전망

전 세계의 SMR 개발자(vendor)들이 생각하고 있는



스마트 원자로 개념도



한국의 SMART 원자로는 지난해 표준 설계 인가를 받은 데 이어 빠르면 올해 건설에 착수할 수도 있다.

상용화 전략은 몇 가지 갈래로 분명하게 나뉘지고 있는 경향을 보이고 있다. 첫 번째 경향은 대부분의 SMR 개발자들이 공통적으로 갖고 있는 전략으로, 비록 최종적인 목표 시장은 해외 수출로 방향을 잡고 있다고 해도 그 첫 출발은 국내 시장을 개척하는 것이다.

미국의 경우 SMR 개발자들은 연속적인 원전 건설 추진에 앞서 어떻게든 최초로 원전을 건설하는 일이 중요한 것으로 생각하고 있다. 동시에 그들은 해외 수출보다는 먼저 미국 내에서 원전이 건설될 수 있도록 미국의 전력 회사들이 보다 적극적으로 나서주기를 강력히 바라고 있다.

그들이 그렇게 하는 이유는 현재 미국에서 운영되고 있는 석탄화력 발전소들이 대부분 수명이 오래된 것들이기 때문에 조만간 전력 시장에서 퇴출될 상황에 놓여있을 뿐만 아니라, 향후 탄소세가 도입될 경우 모든 종류의 화력발전소들이 경제적 부담을 안을 수밖에 없는 상황이기 때문에 소형 원전 개발자들의 입장에서는 원전을 건설할 수 있는 하나의 좋은 기회가 될 것으로 판단하고 있기 때문이다.

이러한 미국의 SMR 개발자들과는 달리 러시아의 원전 개발자인 국영원자력공사(Rosatom)는 러시아 국내에서의 소형 원전 건설 추진과 함께 해외 여러 나라에 SMR을 수출하기 위한 노력에 보다 더 초점을 맞추고 있다. 이러한 Rosatom의 추진 전략은 과거 대형 원전 개발 당시의 상용화 전략과도 일치되는 것이고, 또한 현재 러시아 정부가 범국가적으로 야심차게 추진하고 있는 혁신 주도형 경제 (innovation-driven economy) 개념과도 일치하는 것이다.

러시아와 마찬가지로 중국도 소형 원전의 국내 건설 추진과 함께 해외 수출을 위한 전략과 노력을 아주 적극적으로 펼치고 있다. 중국이 이처럼 SMR의 해외 수출에 많은 노력을 기울이는 이유는 SMR을 수출하는 것이 장차 원자력 기술을 해외로 수출하기 위한 교두보 역할을 할 수 있을 것으로 보고 있기 때문이다. 이와 함께 중국은 원자력 기술 자립에 도움이 될 수 있다고 판단될 경우 외국에서 SMR을 도입할 수도 있다고 생각하고 있다.

한국과 아르헨티나 역시 국내 시장 진출의 한계성 때

문에 해외 수출을 염두에 둔 전략을 추진하고 있다. 이들 두 나라는 일단 최초의 소형 모듈 원전 건설을 국내에서 한 다음, 그러한 건설 경험을 바탕으로 해외 수출을 적극적으로 추진한다는 전략하에 현재 해외 시장 개척에 많은 공을 들이고 있다.

이처럼 소형 모듈 원전을 해외로 수출하기 위해 현재 미국을 포함하여 세계 여러 나라들이 해외 시장 개척을 위해 많은 노력을 하고 있는 가운데, 대형 원전을 해외로 수출한 경험이 있는 한국과 러시아가 좀 더 유리한 고지를 차지하고 있는 것으로 평가되고 있다. 그 반면에 원전 해외 수출의 경험이 없는 중국과 아르헨티나는 상대적으로 어려움을 겪고 있는 것으로 평가되고 있다.

반면에 만일 미국에서 개발된 SMR이 어떤 식으로라도 일단 해외 시장에 진출하게 될 경우 'Made in USA'라는 엄청난 브랜드 가치를 등에 업고 다른 어떤 나라에서 개발된 원전보다 유리한 고지를 차지하게 될 것으로 평가되고 있다.

한편 미국은 원자력 기술을 다른 나라에 수출하는 것이 매우 어려운 구조로 되어 있기는 하지만, 여전히 미국은 러시아 및 중국과 함께 세계에서 차지하고 있는 높은 국가적인 위상과 함께 다른 나라에 미치는 정치적 영향력 또한 크기 때문에 원전 수출 역시 다른 나라들에 비해 보다 유리한 위치에서 있는 것이 사실이다.

공개 경쟁(An open race)

현재 전 세계적으로 SMR에 대한 해외 시장 진출 기회는 모든 나라들에게 다 열려 있다고 볼 수 있다. 비록, 지금까지는 한국과 러시아 등 일부 국가가 해외 시장 진출 측면에서 다른 나라들보다 약간 유리한 입장에서 있는 것이 사실이기도 하지만, 중국이나 아르헨티나도 그에 못지않은 상당한 경쟁력을 갖고 있는 것도 또한 사실이다. 또 경우에 따라서는 의외의 국가가 생각지 않게 세계 시장을 선점함으로써 세계를 놀라게 하는 뜻밖의 경우가 생길 수도 있다.

가령, 그동안 소형 모듈 원전 건설을 어렵게 했던 여러 가지 난관을 최근에 와서야 겨우 돌파한 미국의 원전 개발자들은 빨라야 2020년 초가 되어야 최초의 소

형 모듈 원전 건설을 끝낼 수 있을 것으로 보이기 때문에 해외 시장 진출에는 다소 불리한 입장에 있는 것이 사실이다.

그럼에도 불구하고 미국은 여러 종류의 SMR을 개발하고 있을 뿐만 아니라 과거에 대형 원전의 설계 및 건설 경험을 갖고 있기 때문에 이와 관련된 상당한 기술적 장점을 활용할 수도 있다는 점에서 뜻밖의 결과를 얻을 수도 있는 것이다.

SMR의 상용화 내지는 해외 시장 진출과 관련하여 생각할 수 있는 또 하나의 변수는 아직까지 상용 규모의 소형 모듈 원전을 적극적으로 건설하려는 나라들이 별로 없기 때문에 아무리 빨라도 소형 모듈 원전의 상업적 건설은 앞으로 몇 년 동안은 이루어지지 않을 것으로 보인다는 점이다. 후쿠시마 원전 사고의 여파로 아직도 많은 나라들은 원전을 도입해야 할지에 대한 국가 정책을 결정하지 못한 채 새로운 국가 전력 수급 계획을 수립하기 위해 골몰하고 있는 상황이기 때문이다.

또한, 후쿠시마 원전 사고로 인해 각국은 신규 원전 도입을 위한 기술 평가 기준으로 안전성 요소를 가장 중요한 평가 기준으로 삼고 있고, 이에 따라 미국 원자력규제위원회(NRC)로부터 인증을 받는 일이 다른 어떤 것보다 중요하게 되었다.

따라서 이와 같은 상황을 모두 고려할 때 누가 소형 모듈 원전 시장을 선점할지는 어떤 원자로 개발자가 얼마나 끈기 있게 노력하느냐에 달려 있으며, 이는 결국 끝까지 끈질기게 노력하면서 운도 어느 정도 따라주는 원전 개발자가 세계 시장을 선점하는 최종 승자가 될 수 있을 것이다. 🍊

※ 본고는 세계적인 원자력 컨설팅 업체인 Ux 컨설팅이 2013년 3월에 발행한 '소형 모듈 원전 시장 전망'이라는 제목의 특별 보고서를 참고로 하여 작성한 것이다. 보다 자세한 내용을 원할 경우 http://www.uxc.com/products/rpt_smo.aspx를 참조하면 된다.

· <NEI> Vol.58, No.705, 2013

· 번역 및 감수 : 김형준 박사 / 한국원자력환경공단